HYDROLOGICKÉ PŘEDPOVĚDI V POVODÍ ŘEKY MORAVY

Petr Janál, Zdeněk Hadaš

Příspěvek se věnuje hydrologickému předpovědnímu systému na řece Moravě. Hlavní pozornost je věnována přeshraniční spolupráci v rámci předpovědní povodňové služby (Rakousko, Slovensko), využití nowcastingu srážek v operativní hydrologii a variantnímu či pravděpodobnostnímu přístupu k hydrologickým předpovědím.

KLÍČOVÉ SLOVA: Operativní hydrologie, hydrologická předpověď, povodí Moravy.

HYDROLOGICAL FORECASTING SYSTÉM IN THE MORAVA RIVER BASIN

The contribution deals with the hydrological forecasting system in Morava river basin. The main topics are the transboundary cooperation within the hydrological forecasting service (Austria, Slovakia), the using of precipitation nowcasting in operative hydrology and the probabilistic or variant approach to the hydrologic forecasting.

KEY WORDS: Operative hydrology, hydrological forecast, Morava river basin

Úvod

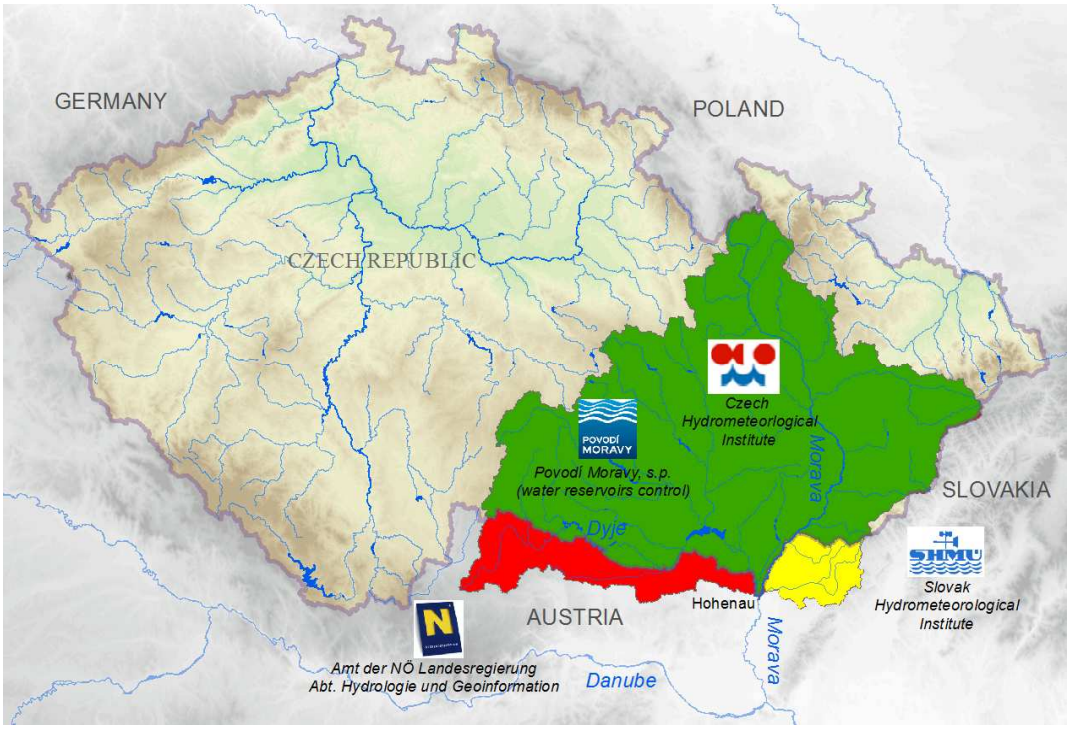
Mezi živelnými katastrofami jsou to povodně, které způsobují ve střední Evropě největší ekonomické škody a mnohdy si také vyžádají i oběti na lidských životech. Fungující předpovědní a varovný systém, založený na meteorologických a hydrologických modelech, tvoří jeden z nástrojů, kterým lze snížit škody způsobené povodněmi a zejména ztráty na životech. Úspěšnost hydrologické předpovědi se odvíjí z úspěšnosti předpovědi srážek, získané obvykle z numerických modelů počasí. Příspěvek je zaměřen na předpověď povodní z regionálních srážek, případně povodní způsobených táním sněhové pokrývky; tyto povodně zasahují středně velká až velká povodí.

Materiál a metody

Přeshraniční spolupráce

Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) v rámci předpovědní povodňové služby denně poskytuje deterministické předpovědi průtoků na následujících 48 hodin pro více než sto předpovědních profilů. V povodí řeky Moravy leží 25 předpovědních profilů na území České Republiky a 3 profily na území sousedních států (Rakousko, Slovensko). Podstatná část povodí Dyje se nachází na rakouském území, přičemž při vzniku povodní je klíčová oblast horního povodí Dyje, kde na území Rakouska leží cca 1000 km^2. Povodí Myjavy, levostranného přítoku řeky Moravy, leží na slovenském území, jeho rozloha je 646 km^2. V roce 2003 byl nasazen předpovědní model HYDROG (Starý, 1991-2015) pro povodí Dyje po nádrže Nové Mlýny, zahrnující i rakouskou část povodí. Mezinárodní spolupráce je pro správné fungování předpovědního systému velice důležitá. Bližší spolupráce mezi českou a rakouskou stranou započala po ničivých povodních z tání sněhové pokrývky na jaře roku 2006. Stávající měrná síť se ukázala být nedostatečná, zejména co se týče měření výšky a vodní hodnoty sněhu. Po této události proto došlo k významnému rozšíření pozorovací sítě a vzájemné výměny dat. Hydrologické předpovědi v profilech Schwarzenau a Raabs počítané na brněnské pobočce ČHMÚ začaly být předávány dolnorakouské hydrologické službě. Později byl rozšířen i hydrologický model pod soutok Moravy a Dyje. Posledním předpovědním profilem je stanice Hohenau (Moravský Sv. Ján), která se nachází za soutokem Moravy a Dyje na rakousko-slovenské hranici. Hydrologické předpovědi v profilech Schwarzenau, Raabs a Hohenau, poskytované ČHMÚ, jsou zobrazovány na stránkách dolnorakouské hydrologické služby. Slovenskému hydrometeorologickému ústavu jsou předávány předpovědi pro profily Kroměříž (Morava), Strážnice (Morava), Břeclav-Ladná (Dyje) a Moravský Sv. Ján (Morava).

Na obr. 1 je znázorněno povodí řeky Moravy po profil Hohenau (Moravský Sv. Ján). Zeleně je vyznačená část povodí ležící na území ČR, červeně část ležící na území Rakouska a žlutě část ležící na území Slovenska. Kromě zmíněné spolupráce s rakouskou a slovenskou hydrologickou službou je pro zajištění předpovědní povodňové služby důležitá úzká spolupráce s Povodím Moravy s. p. V rámci ČHMÚ povodí řeky Moravy spadá pod dvě pobočky. Horní část povodí po profily Olomouc (Morava) a Dluhonice (Bečva) spadá pod Ostravskou pobočku, zbytek povodí pod brněnskou pobočku.

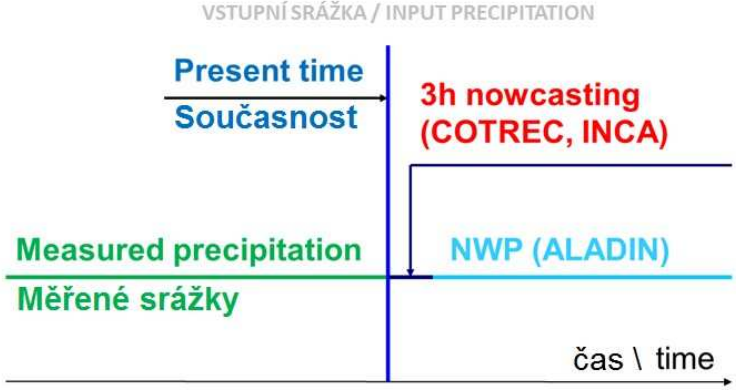


Obr. 1. Zájmové území.
Fig. 1. The area of interest.

Hydrologický model a vstupní data

Hydrologické předpovědi na povodí řeky Moravy jsou počítány pomocí distributivního srážkoodtokového modelu HYDROG. Distributivní modely dokáží zohlednit jak časové tak prostorové rozložení vstupních dat. Kvalitní vstupní data jsou podmínkou pro úspěšnou simulaci a následnou predikci průtoků v povodí. Všechna měření mají však nějakou chybu a to je třeba zohlednit i ve výpočtu hydrologických předpovědí. Proto je v současnosti vedle deterministické hydrologické předpovědi počítána i pravděpodobnostní či variantní předpověď, viz níže. Důležitý je i požadavek na transparentnost vstupních dat, tak aby bylo možné je editovat, vyžádá-li si to situace. V hydrologickém modelu je zájmové povodí rozděleno na dílčí polygony. V horských oblastech jsou to plochy velikosti desítek km^2, v nížinách lze uvažovat i větší plochy. Vstupní data reprezentují střední hodnotu dané veličiny pro každý polygon. Časový krok vstupních dat je 1 hod.

Vstupní data jsou připravována automaticky pomocí nástrojů GIS. Údaje ze srážkoměrů jsou kombinovány s radarovými odhady srážek a to více metodami (Šálek et al., 2004). Bodová měření teplot a sněhové pokrývky jsou interpolována na ploše, kdy je uvažován i vliv nadmořské výšky. Předpovídaná meteorologická data jsou tvořena výstupy numerických modelů počasí, jako je např. model ALADIN (ALADIN International Team, 1997). Předpověď srážek bývá konzultována s meteorologem a případně lze provést manuální korekci těchto dat. Pro první tři hodiny předpovědi srážek jsou využívány metody nowcastingu. Jedná se o extrapolaci dat z meteorologických radarů. V operativním provozu jsou využívány dvě metody nowcastingu srážek, COTREC (Novák, 2007) a INCA (Haiden et al., 2004). Struktura vstupních srážek pro hydrologický model je znázorněna na obr. 2.



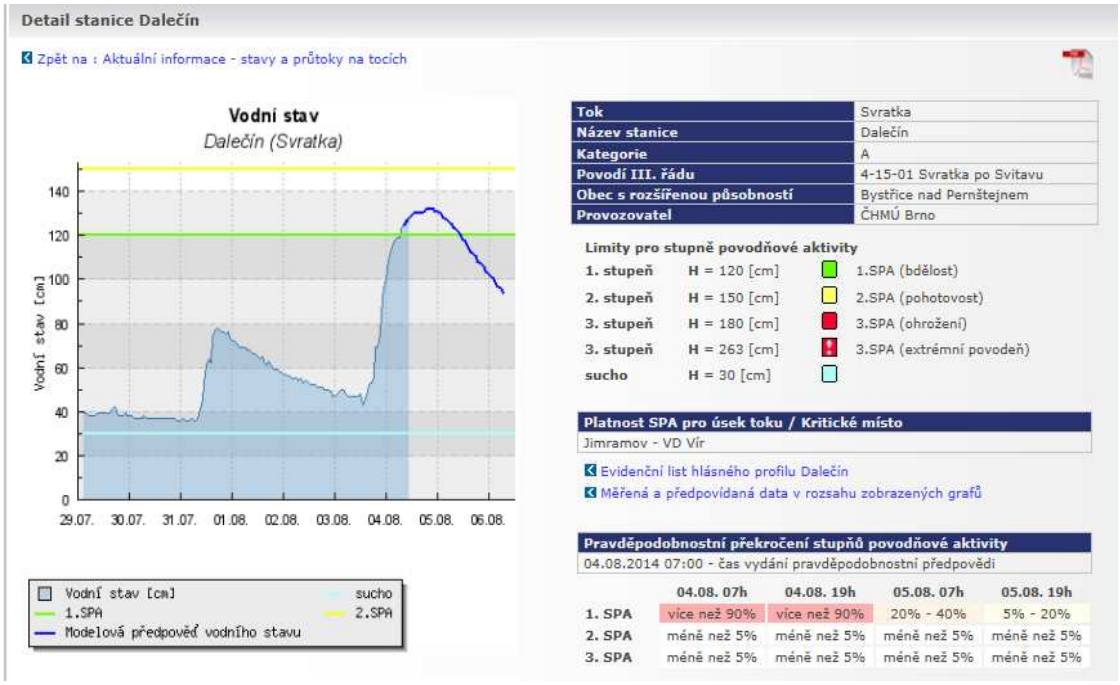
Obr. 2. Schéma vstupních srážek pro model HYDROG
Fig. 2. The schema of input precipitation for model HYDROG.

Automatizace předpovědního procesu

Při vzniku a průběhu povodňové situace dochází k rychlým změnám podmínek v povodí, na které je třeba reagovat. Hydrologický model je nutné měnícím se podmínkám neustále přizpůsobovat, aby byl schopen povodňovou situaci co nejpřesněji simulovat (princip adaptivity). Proto je důležité předpovědi průtoků často aktualizovat na základě nových měřených meteorologických a hydrologických dat a poznatků z povodí (např. změny plánovaných manipulací na vodních dílech, protržení hráze apod.). Výpočty je třeba provádět v téměř reálném čase, aby bylo možné realizovat protipovodňová opatření, která jsou na předpovědích průtoků založená. To jsou důvody, které vedly k automatizaci celého předpovědního systému. V současné době je možné aktualizovat hydrologické předpovědi pro celé povodí Moravy v časovém kroku 1h. Základem je vždy manuálně provedený výpočet, kde hydrolog kontroluje a nastavuje parametry hydrologického modelu. Toto nastavení je pak použito i pro automaticky prováděné výpočty. V případě, že se automaticky simulované průtoky začínají rozcházet s měřenými daty, je třeba opět provést manuální výpočet, protože hydrolog nejlépe odhadne, čím jsou tyto rozdíly způsobeny (nepřesné parametry modelu, chyby či výpadky ve vstupních datech, nepředvídatelné události jako např. protržení hrází atd.). Automatizace předpovědního procesu tedy neslouží k náhradě manuálního výpočtu, lidský úsudek je nenahraditelný. Automatizace však velmi usnadní práci hydrologa při povodních, která sebou nese velké psychické zatížení.

Pravděpodobnostní/variantní předpověď

Chyba předpovědi srážek je obvykle hlavním faktorem ovlivňujícím přesnost předpovědi průtoků, alespoň co se týče letních povodní způsobených silnými srážkami. Deterministická předpověď průtoků, založená na jednom scénáři budoucího vývoje srážek, je velkým zjednodušením skutečné situace. Nejistota, která je obsažena v celém procesu výpočtu předpovědi, není takto vůbec ve finálním výstupu vyjádřena. Pokud mají být na základě hydrologické předpovědi činěna významná opatření (např. evakuace obyvatel z oblastí, které mohou být dle předpovědi zatopené), je potřeba odhadnout i pravděpodobnost se kterou lze předpovídaný průtok očekávat.
Deterministické hydrologické předpovědi ČHMÚ jsou od roku 2012 doplněny o pravděpodobnostní předpověď ve formě tabulky s uvedenými pravděpodobnostmi překročení jednotlivých stupňů povodňové aktivity v daných časových intervalech, viz obr. 3 vpravo dole. Pravděpodobnostní předpověď průtoků vychází z výstupů numerického modelu ALADIN-LAEF, který produkuje 16 různých variant předpovědí počasí (srážek a teplot) v rozlišení 18 x 18 km. Pro každý z předpovědních profilů tak lze spočítat 16 obecně různých hydrogramů budoucího průtoku, na jejichž základě je pak určena pravděpodobnost překročení limitních průtoků. Samotné hydrogramy jsou poskytovány pouze odborníkům. Široké veřejnosti jsou výsledky prezentovány pouze ve formě zmíněné tabulky pravděpodobností.



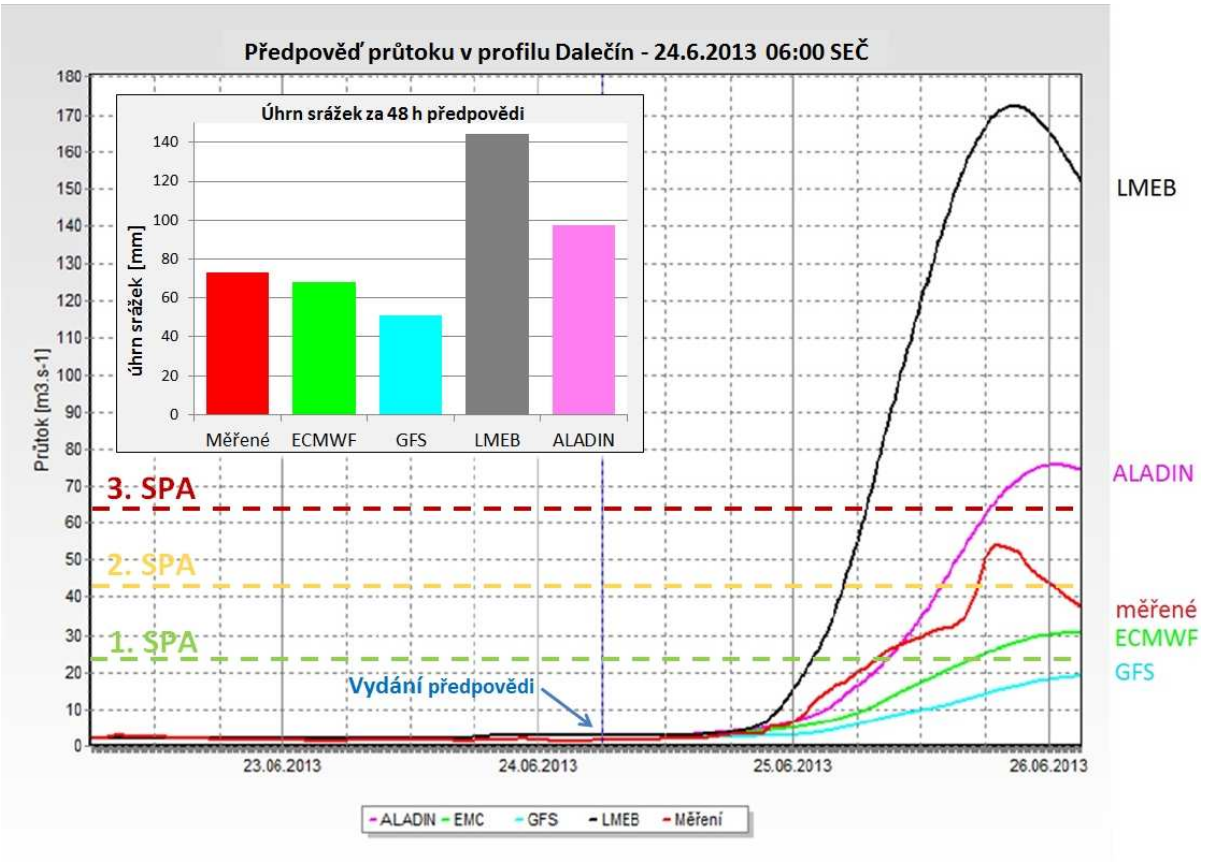
Obr. 3. Deterministická a pravděpodobnostní předpověď průtoků – prezentace na webových stránkách ČHMÚ.
Fig. 3. The deterministic and probabilistic discharge forecast – presentation on CHMI web sites.

Uvedená pravděpodobnostní předpověď průtoků vychází z předpovědi počasí numerického modelu ALADIN. ČHMÚ má k dispozici výstupy i dalších numerických modelů počasí. V současné době se začíná počítat i tzv.

variantní předpověď průtoků, kde jsou kromě modelu ALADIN jako vstupní data použity předpovědi srážek a teplot i z dalších numerických modelů počasí. Výstupy slouží hydrologovi ke komplexnějšímu přehledu o možném vývoji hydrologické situace. Následující numerické modely počasí jsou využívány při variantní hydrologické předpovědi:

- ALADIN (ČR) rozlišení 4,5 x 4,5 km (lokální model)
- LMEB (D) rozlišení cca 6 x 6 km (lokální model)
- ECMWF (GB) rozlišení 16 x 16 km (globální model)
- GFS (USA) rozlišení 13 x 13 km (globální model)

Příklad výstupů variantní hydrologické předpovědi je na obr. 4. Jedná se o předpověď k 24. 6. 2013 6:00 SEČ v profilu Dalečín na řece Svratce. Naměřený průběh průtoků je znázorněn červenou barvou. V profilu byl dosažen 2. SPA (26. 6. 2013). Předpověď je počítána v čase, kdy je příčinná srážka pouze předpovídána. Uvedený hydrogram předpovědi založené na modelu ALADIN odpovídá předpovědi skutečně publikované na webových stránkách ČHMÚ. Na srovnání 48h úhrnů předpovídaných srážek je patrné, že se jednotlivé meteorologické předpovědi mohou významně lišit. Naměřenému množství srážek se v tomto případě nejvíce přiblížila předpověď modelu ECMWF, časové rozložení srážky se však od skutečnosti lišilo.

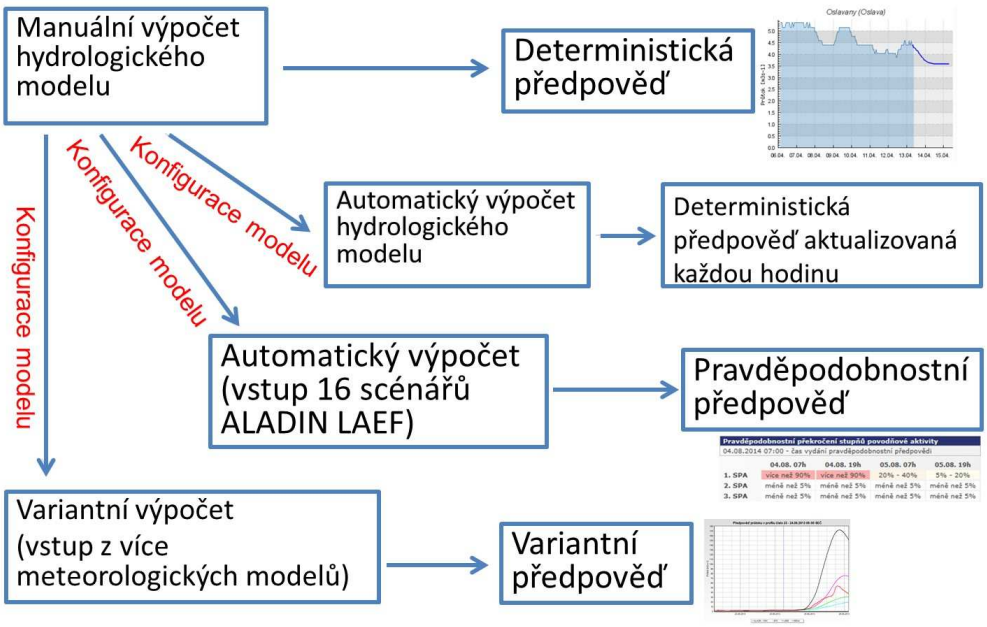


Obr. 4. Příklad variantní předpovědi průtoků.
Fig. 4. The example of the variant discharge forecast.

Provoz předpovědní služby

Schéma produktů počítaných denně v rámci předpovědní povodňové služby na ČHMÚ Brno je uvedeno na obr. 5. Základem je vždy manuální výpočet hydrologického modelu prováděný hydrologem ve službě, jehož výsledkem je deterministická předpověď průtoků publikovaná pro širokou veřejnost na webových stránkách (hydro.chmi.cz). Tato předpověď musí být standardně vydána do 9:00 občanského času. Konfigurace modelu nastavená v rámci manuálního výpočtu je výchozí pro výpočet všech ostatních produktů. Automatický výpočet hydrologického modelu se spouští několikrát denně, tím je deterministická předpověď pro interní potřeby průběžně aktualizována. Poslední aktualizace je prováděna k 4:00, tak aby měl hydrolog předběžný přehled o situaci v povodí již před výpočtem deterministické předpovědi. Výpočet pravděpodobnostní předpovědi (založený na ALADIN-LAEF) následuje bezprostředně po manuálním výpočtu deterministické předpovědi a

běží automaticky. Výstupy jsou pro veřejnost publikovány formou tabulky, viz obr. 3. Výpočet variantních předpovědí je v současnosti prováděn manuálně. Výstupy slouží pro interní potřeby.
Za povodňové situace je manuální výpočet hydrologického modelu prováděn dle potřeby několikrát denně, automatická aktualizace deterministické předpovědi průtoků probíhá každou hodinu. Aktualizace pravděpodobnostní a variantní předpovědi průtoků závisí na dostupnosti výstupů použitých numerických modelů počasí, tj. zpravidla 2 krát denně.



Obr. 5. Schéma výpočtu hydrologických předpovědí (ČHMÚ Brno).
Fig. 5. The scheme of the hydrological forecasts calculation (CHMI Brno).

Výsledky a diskuse

Nové předpovědní produkty (pravděpodobnostní a variantní předpovědi průtoků) slouží jako doplňující informace k deterministické předpovědi průtoků založené na předpovědi srážek (teplot), kterou považujeme za nejpravděpodobnější. Považujeme za nutné, aby hydrolog měl co nejvíce komplexní přehled o nadcházejí situaci v povodí a to nejen z pohledu očekávaných srážkových úhrnů, ale i jejich transformace na průtokovou odezvu. Během povodní pravidelně zasedá povodňová komise včetně zástupce ČHMÚ, kde je konzultována stávající povodňová situace i její očekávaný vývoj. Důležitější než jednotlivé konkrétní hodnoty předpovídaných kulminací je celkové zhodnocení míry nebezpečí, k čemuž by nové předpovědní produkty měli sloužit.
Přesnost předpovídaných průtoků je závislá na kvalitě vstupních dat (především srážek). Samotné hydrologické modely provozované zkušeným odborníkem jsou schopny simulovat povodňovou situaci s dostatečnou přesností. Lze však zpřesňovat samotné schématizace dílčích povodí, tj. např. zpřesňovat informace o kapacitách úseků koryt, rozlivech, poldrech atd. Předpokladem je mít tyto informace k dispozici. Takto byla např. zpřesněna schématizace toku Moravy a Bečvy, kdy byly po dvou významných povodních v roce 2010 k dispozici přesnější údaje o rozlivech. Všechny tyto údaje byly začleněny do modelu HYDROG a věříme, že přispějí ke zpřesnění hydrologických předpovědí při budoucích povodních.

Závěr

Příspěvek představil současný stav hydrologické předpovědní služby na brněnské pobočce ČHMÚ. Během posledních let došlo k velkému rozvoji předpovědních metod. Byly zavedeny nové produkty, které má hydrolog standardně k dispozici. Stále platí, že nejvýznamnější vliv na přesnost předpovědi průtoků má zpravidla přesnost předpovědi srážek. Jedinou možností, jak reagovat na nejistotu předpovídaných srážek, je častá aktualizace výpočtu hydrologického modelu a jeho postupná adaptace na měnící se podmínky v povodí. Doplňující produkty, jako pravděpodobnostní, případně variantní předpověď průtoků, mají přispět k lepší informovanosti odborné i laické veřejnosti. Je však třeba se s novými produkty naučit pracovat. Další vývoj by měl směřovat především ke vzdělávání uživatelů nových předpovědních produktů. Každá informace má smysl pouze tehdy, je-li správně pochopena a jsou-li na jejím základě prováděna příslušná opatření.

Literatura

ALADIN International Team (1997). The ALADIN project: Mesoscale modelling seen as a basic tool for weather forecasting and atmospheric research. WMO Bulletin, 46, pp. 317-324.

Haiden, T., A. Kann, C. Wittmann , G. Pistotnik, B. Bica, C. Gruber, (2011). The Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis (INCA) system and its validation over the Eastern Alpine region. In: Weather Forecasting, 26

Novák, P., (2007). The Czech Hydrometeorological Institute's Severe Storm Nowcasting System. In: Atmospheric Research, 83, pp. 450–457.

Starý, M., (1991-2014). HYDROG, Software for simulation, prediction and operative control of water outflow from the river catchment, Brno, Czech Republic.

Šálek M., Novák P., Seo D.-J., (2004). Operational application of combined radar and raingauges precipitation estimation at the CHMI. In: ERAD 2004 proceedings, ERAD publication series, Vol. 2, pp. 16-20.

HYDROLOGICAL FORECASTING SYSTEM IN THE MORAVA RIVER BASIN

Czech Hydrometeorological Institute (CHMI) – the national hydrological service – issues daily deterministic hydrological forecasts with lead time of 48 h for more than one hundred water-gauge stations. Within the Morava River catchment there are 25 forecasting profiles in Czech Republic and 3 forecasting profiles abroad. The forecasts end in the gauging station Hohenau an der March under the junction of Morava and Dyje Rivers. For operation of flood forecasting service the international cooperation is necessary because a significant part of upper Dyje catchment spreads in Austria and also there is Myjava River basin in Slovakia, see fig. 1.

Closer partnership between Czech and Austrian side starts after wasting flood event which hit Dyje River basin in spring 2006. Current data measurement turned out to be insufficient especially concerning snow cover. Observation in boundary area was widened and the exchange of data was established. Current hydrological model was extended up to gauging station Hohenau.

The distributive rainfall-runoff model HYDROG (Starý, 1991-2014) is used for hydrological forecasting in area of interest. The distributive rainfall-runoff models are able to involve both temporal and spatial distribution of the input data (i.e. precipitation, temperatures and snow cover). The exact input data are the fundamental term for the successful simulation and consequently the discharge forecast in the given catchment. There are always some errors of the measurements. These errors must be taken into account in the model calculation. The other requirement is to keep the input data transparency so that it would be possible to edit it where appropriate (e.g. at the underestimating of snow stores in the catchments based on measurement).

The catchments of interests are divided into subareas (polygons) – in the mountain areas the maximum polygon area is dozens of km^2, in lowlands it is possible to think of larger ones. The input quantity is than considered as the mean value. The time step of the input data is one hour.

The input data are automatically prepared by means of GIS. The measured precipitation are combined with radar data estimation in more variations (Šálek et al., 2004), temperatures and snow cover are area interpolated following the point measurements, whereas altitude dependence is taken into account. The forecasting values are considered according the outputs from various NWP models e.g. ALADIN (ALADIN International Team, 1997), in some case the corrections are curried out based on the consultation with meteorologist. The precipitation nowcasting by the method COTREC (Novák, 2007) or by the method INCA (Haiden et al., 2004) is used for the first three hours of the precipitation forecast.

Process of input data producing and model calculation is automated which enables frequent updating of discharge forecast (every hour if necessary). It enables hydrologist to react to the changing conditions in the catchment and take into account the most up-to-date data.

The error of the precipitation forecast is usually the main factor that influences the accuracy of the final flow forecast – at least when we speak about the forecasting of summer floods caused by heavy precipitation. The deterministic discharge forecast based on one rainfall scenario is a great simplification of the real situation – the indeterminations, which influence the whole calculation process, are not expressed in the final discharge forecast. When significant decisions are to be made according to an actual discharge forecast (e.g. evacuation of inhabitants in the flood-threatened area), it is necessary to estimate the hazard factor.

The probabilistic hydrological forecasts are provided by CHMI since 2012 in addition to deterministic forecasts. Input data comes from ensembles of NWP model ALADIN-LAEF (precipitation and temperature). ALADIN-LAEF produces 16 different weather forecasts with resolution of 18 x 18 km. Hydrological output consist of 16 variants of future discharge in every forecasting profile. The results in the form of hydrograms are provided only for experts. In order to make results understandable, the outputs for public are presented as probability of limit discharges exceeding during given time interval, see lower right corner of fig. 3.

Nowadays the variant hydrological forecast is also calculated for internal use only. The outputs (precipitation and temperature) from 4 different NWP models are used as inputs to hydrological model and 4 discharge forecasts are obtained. An example of the variant discharge forecast is on fig. 4.
Hydrologic forecasting system must be able to react quickly to dynamically changing conditions in the catchment. Therefore the discharge forecasts have to be frequently updated using latest measured data and the most actual weather forecast. The new products of the hydrological forecast (probabilistic and variant forecasts) can contribute to better awareness of experts and public. To apply the discharge forecast effectively, it is necessary to interpret it well. Therefore we should put the accent on the training of the people involved in the flood-protection, especially in the case of new forecasting products.
.

Informace o autorech:
Petr Janál, Ing., Ph.D.
Zdeněk Hadaš, Ing.
Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno, Kroftova 43, 616 67, Brno, Česká Republika
Tel.: 541 421 071
E-mail: petr.janal@chmi.cz